

Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el Municipio de Anorí, Antioquia, Colombia

Assessing susceptibility to erosion related to land cover changes induced by mining in Anorí, Antioquia, Colombia

Recibido para evaluación: 15 de Marzo de 2011
Aceptación: 06 de Noviembre de 2012
Recibido versión final: 28 de Noviembre de 2012

Darney de J. Ceballos Espinosa¹
Luis Jairo Toro R.²

RESUMEN

Se implementó un modelo para la evaluación de la susceptibilidad a la erosión en el municipio de Anorí por medio de la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitieron la evaluación espacial de las diferentes variables de un modelo basado en la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE), y que tiene en cuenta el posible cambio de cobertura vegetal por el desarrollo a futuro de proyectos mineros. El modelo incluye las principales variables como son las hidrológicas (lluvia, escorrentía), la pendiente, la geología y las coberturas vegetales, esta última modificada para un escenario futuro con minería.

El municipio de Anorí está ubicado en la región norte-nordeste antioqueña y presenta un valioso potencial minero, el cual se ha incrementado por los altos valores del oro en el mundo y por la denominada locomotora de la minería impulsada por el Gobierno Nacional. De acuerdo con los resultados del modelo, el cambio de cobertura vegetal por el desarrollo de los proyectos mineros a cielo abierto incrementa directamente la susceptibilidad a la erosión en el municipio de Anorí. En consecuencia, la gestión ambiental en el modelo de susceptibilidad a la erosión está basada en el manejo del cambio de las coberturas vegetales, mediante la implementación de mecanismos de prevención, mitigación y compensación, para evitar el incremento de la erosión.

Palabras claves: Coberturas vegetales, erosión, gestión ambiental, minería, modelo, SIG, susceptibilidad.

ABSTRACT

A model for assessing the susceptibility to erosion in the municipality of Anorí, through the use of Geographic Information Systems (GIS), was implemented, allowing the spatial assessment of different variables of a model based on the Universal Soil Loss Equation (USLE). Model takes into account possible changes in vegetation cover because of future development of mining projects. The model includes the major hydrological variables such as rain and runoff, as well as slopes, geology and vegetation cover.

Anorí is located in the north-northeast of Antioquia and presents a valuable mineral potential for the region which has increased thanks to the high prices of gold in the world and the so called mining "locomotive" driven by the national government.

According to the results of this model, the vegetation cover change caused by open pit mining projects directly increases the susceptibility to erosion in Anorí. Consequently, environmental management in the erosion susceptibility model is based on the handling of vegetation cover, through the implementation of prevention, mitigation and compensation mechanisms, to avoid increased erosion.

Key Words: Vegetation cover, erosion, environmental management, mining, model, GIS, susceptibility. .

1. Ing. Forestal. Especialista en SIG. Especialista en Gestión Ambiental. ddceball@gmail.com

2. Ing. Forestal. Magister in Science. PhD. Universidad de Córdoba España

1. INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental que se ha detectado en los últimos años en el Nordeste Antioqueño, como consecuencia de la minería informal que no realiza ningún estudio ambiental ni manejos ambientales adecuados, ha provocado que la sociedad en general haya comenzado a tomar conciencia de esta problemática que afecta el desarrollo sostenible de estas regiones.

La base económica del Municipio de Anori se encuentra en el sector primario extractivo, con predominio de la actividad agropecuaria. Otras actividades económicas que tienen importancia tanto por el personal ocupado como por los ingresos económicos generados, son la minería y las explotaciones forestales (especialmente madera), las cuales son practicadas sin planeamientos técnicos. Ello incide en el fuerte el grado de devastación y deterioro del medio ambiente, por lo que es prudente iniciar acciones que racionalicen las actividades y mitiguen el impacto sobre los recursos naturales (EOT ANORI, 2000)

Hoy la deforestación y los impactos por la actividad minera, como la erosión y la sedimentación, son problemáticas de primera importancia que se identifican como retos para los actuales procesos de desarrollo y que ameritan ser analizadas para efectos de proyectar el futuro del territorio municipal. (EOT ANORI, 2000).

La minería, “aquel sector de la economía en el que se realiza la amplia gama de actividades que va desde la exploración primaria hasta la producción de elementos puros y de compuestos de origen mineral, o bien de productos intermedios como son los concentrados” (Millán, 1996), está íntimamente ligada al proceso socioeconómico de los territorios donde se realiza. Debido a las alteraciones que induce en el suelo y el subsuelo, al consumo de recursos naturales renovables requeridos para su desarrollo y a los efectos ambientales (positivos y negativos) que genera sobre el medio natural y antrópico, la actividad minera es inseparable de la comunidad y su economía. Por tanto, esta actividad debe contemplarse en el marco de la realidad de nuestra sociedad, y al mismo tiempo, ha de tener en cuenta aspectos y peculiaridades propias, como son la ocurrencia y el agotamiento de los yacimientos minerales (Ceballos, 2008)

El sector minero en Colombia se viene desarrollando y con ello las herramientas de análisis de las variables que involucran su desarrollo, entre las cuales encontramos una de las más importantes, el componente ambiental. Por ello se hace necesario la aplicación de una herramienta que agilice los procesos de análisis de las posibles afectaciones ambientales de estos proyectos, y una de las más versátiles y útiles son los sistemas de información, ya que facilitan tener toda la información georeferenciada y ubicada en planos, para poder superponerla con todas las variables que involucran estos proyectos.

La necesidad de resolver problemas de toma de decisiones en zonas mineras se origina básicamente por los conflictos que se presentan entre la actividad minera y el territorio. Dicha conflictividad asume tres variantes básicas. En primer lugar, el conflicto de uso entre el suelo y el subsuelo, el cual se da entre los usos actuales o proyectivos del suelo y el potencial minero; también ocurren conflictos entre los distintos intereses y demandas sociales que se plantean sobre estos recursos. Por último, existen conflictos entre los impactos positivos y negativos de la minería, que afectan al medio natural y socioeconómico (Ortega, 2006).

Según Baretino (2003), La conciencia que se tiene en la sociedad actual de la limitación de los recursos naturales, así como de los diversos elementos que constituyen el medio natural y los ecosistemas que nos rodean, obliga a establecer los mecanismos que permitan solucionar los problemas de abastecimiento de la demanda de materias primas minerales en equilibrio con la conservación de la naturaleza. Para que el proceso de evaluación ambiental, como el de la susceptibilidad a la erosión, se constituya en una estrategia acertada de manejo de estos conflictos, se deben utilizar herramientas que aporten criterios para la toma de decisiones con relación a la planificación y ordenación de zonas con potencial minero, de tal manera que esta actividad se incorpore y articule a dicho proceso.

Una de las variables ambientales que suele desestimarse es la erosión. Este es un proceso natural en el que los suelos varían su espesor, desestabilizando los taludes, y produciendo sedimentos que anegan y colmatan los sistemas naturales o artificiales que controlan el excedente de escorrentía

superficial (ríos, humedales, canales, lagos y embalses), provocando desbordamiento e inundaciones o afectando actividades agropecuarias e industriales que se encuentren cercanas (Mesén, 2009). La erosión de los suelos es un proceso natural; sin embargo, debido al uso intensivo de las tierras agrícolas, al cambio de coberturas y al manejo inadecuado, la dinámica del paisaje ha cambiado. Como consecuencia de tales actividades del hombre, la erosión de los suelos se está acelerando (FAO, 1990).

Una de las formas de calcular la erosión es utilizando el método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Universal Soil Loss Equation USLE; Wischmeier y Smith, 1978), la cual evalúa los efectos del clima, suelo, topografía, cultivos y prácticas de conservación en la erosión de una pendiente o en una cuenca. Otra forma de evaluar este proceso es calculando la susceptibilidad a la erosión, la cual se define como la capacidad de un área para ser modificada o afectada, por factores externos, en su propensión para erosionarse, la cual se utilizará para este estudio (EPM, 2006).

Una vez definida la USLE, los estudios tendentes a predecir la pérdida de suelos por erosión hídrica han seguido, esencialmente, dos vías. De una parte, acomodar la USLE a las situaciones específicas de diferentes países, haciendo, con ello, modificaciones en algunos de sus factores. De otra, formulación de nuevas ecuaciones tendentes a predecir la producción de sedimentos en una cuenca. Con ello se ha iniciado un nuevo proceso hacia el establecimiento de predicciones basadas en modelos físicos detallados, que simulen la erosión como un proceso dinámico y describan el movimiento del suelo a lo largo de una pendiente, y no sólo a través de relaciones empíricas combinadas con ecuaciones, como hasta el presente (JA 2010).

El modelo USLE aplicado en un ambiente SIG puede servir de marco para la modelación de fenómenos naturales y socioeconómicos complejos, tales como el cálculo de la pérdida por celda. Este modelo puede combinarse con modelación dinámica utilizando la estimación de la erosión, mediante la reclasificación de los parámetros derivados de los factores topográficos y repitiendo las simulaciones en un número de etapas (Geler et al, 2004).

Los sistemas de información geográfica SIG son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de estudios ambientales, como los estudios de impacto ambiental (EIA) y diagnóstico ambiental de alternativas (DAA), entre otros. La evaluación ambiental preliminar es una de las primeras etapas de los proyectos de desarrollo, como los mineros. Hoy es casi imposible imaginar un estudio de esta índole, en cualquier escala, sin la utilización de los Sistemas de Información Geográfica. (Ceballos, 2008)

En años recientes ha surgido un considerable interés en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como un sistema de soporte a la decisión. Para algunos, este rol consiste, simplemente, en ilustrar en forma de mapas, el resultado de un proceso de toma de decisiones. Sin embargo, es en el campo de la planificación, evaluación de posibles impactos y ordenación del territorio, donde la integración de los SIG y los modelos ambientales puede constituirse en una importante herramienta. (Ceballos, 2008)



Figura 1. Localización del municipio de Anorí

2. ASPECTOS GENERALES

El municipio de Anorí está ubicado en la región norte-nordeste del departamento de Antioquia, sobre la margen oriental de la cordillera central; se localiza regionalmente sobre el altiplano de Anorí, el cual presenta una forma alargada de dirección norte - sur, está limitado al este por el cañón del

río Porce y al oeste por los frentes de erosión de los ríos Nechí, Tenche, San Pablo, San Juan y la Quebrada la Soledad. La cabecera municipal se encuentra a una distancia de 178 km. de la ciudad de Medellín, el casco urbano se encuentra a unos 1535 msnm y la temperatura promedio es de 21°C. El municipio está situado a 7° 04' 04" de latitud Norte y a 75° 08' 57" de longitud Oeste de Greenwich. (EOT Anori, 2000).

3. METODOLOGIA

Existen métodos físicos y empíricos para modelar este proceso; estos integran de distintas maneras las principales variables que intervienen en el proceso erosivo (Mesén, 2009).

En el año de 1996, Empresas Públicas de Medellín contrató el estudio "Diagnóstico actividad y susceptibilidad erosiva Proyecto Porce II", elaborado por Consultoría Colombiana S.A., el cual evaluó la susceptibilidad a la erosión para la zona de influencia del proyecto hidroeléctrico de Porce II. Este estudio tomó como modelo inicial de erosión la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE), a partir de la cual se realizó un análisis estadístico para definir el modelo matemático con el cual se calculará la susceptibilidad. Para validación del modelo, se analizaron 25 variables independientes y con datos de campo.

La ecuación que se consideró más indicada es la siguiente:

$$S_e = 0,162 * V + 0,0092 * Lm + 0,0057 * Es + 0,0187 * s + 0,023 * Geo + 0,228$$

(Ecuación 1)

Donde,

- V: Vegetación
- Lm: Lluvias
- Es: Escorrentía
- S: Pendiente
- Geo: Geología

Esta ecuación fue de nuevo aplicada por EPM en el año 2006, en la evaluación de impactos ambientales acumulativos sinérgicos e indirectos en la cuenca hidrográfica del río Porce con énfasis en el proyecto Porce III.

Ya que el municipio de Anori hace parte de la cuenca del río Porce, y las variables del modelo fueron validadas por el estudio de EPM en 1996 y en el 2006, se consideró que esta ecuación es la más válida para la estimación de la susceptibilidad a la erosión a una escala 1:25000. El modelo fue aplicado mediante herramientas SIG, ya que permiten construir modelos de simulación discretos y continuos para resolver problemas de análisis espacial (datos ubicados espacialmente). El análisis espacial contempla un conjunto de procedimientos con los cuales es posible desarrollar la ecuación 1.

Para la estimación de las variables del modelo, se emplearon fuentes secundarias y primarias de información. Para determinar las coberturas vegetales, se revisó una imagen Landsat 7 – ETM, con resolución de 30 m, tomadas 2000-08-21; utilizando el software de tratamiento de imágenes ERDAS, se realizó una clasificación inicial de supervisión sobre bandas 4, 5 y 3 por ser las que mejor presentan las diferenciación de cobertura y la mejor mezcla de clases; también se revisó la cartografía de usos del suelo y coberturas vegetales presentes en el EOT del municipio de Anori del año 2000 y, por último, se revisaron las coberturas obtenidas de la metodología Corine Land Cover (CLC) a partir de una imagen SPOT resolución de 20m interpretada en el año 2007 y suministrada por CORANTIOQUIA. Esta imagen fue escogida para la aplicación del modelo, por su buena correlación con los datos de campo y por ser la más reciente

Para cada una de las clases de cobertura definidas se analizó, por medio del conocimiento de expertos forestales, y se dio un valor relativo de vegetación (V), teniendo en cuenta que la susceptibilidad a la erosión es menor si se conserva la cobertura original (Bosque natural) y definiendo

una escala de susceptibilidad a la erosión de 1 a 10 siendo diez (10) el mayor grado de susceptibilidad y uno (1), el menor grado de susceptibilidad (Tabla 1).

Para determinar la topografía se revisó información disponible en el IGAC, CORANTIOQUIA, la Gobernación, el EOT del municipio de Anorí e información de radar, obtenida del proyecto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>) del año 2000, con una resolución espacial aproximada de celdas de 90 metros. Analizando la información se pudo validar que la información del IGAC era escasa y con demasiado datos faltantes; por ello, se procedió a utilizar la información del proyecto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), la cual es información muy válida para la escala de trabajo acorde a los resultados obtenidos en el estudio de cartografía digital de JARVIS para escalas de trabajo 1:25000. (JARVIS, 2010).

Cobertura (CLC nivel 3)	Factor V
Ríos (50 metros)	10
Afloramientos rocosos	10
Arbustos y matorrales	4
Bosque Fragmentado	2
Bosque de galería y/o ripario	2
Bosque natural denso	2
Bosque plantado	2
Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	4
Mosaico de pastos y cultivos	4
Mosaico de pastos y espacios naturales	4
Obras hidráulicas	2
Otros cultivos anuales o transitorios	6
Pastos arbolados	4
Pastos enmalezados o enrastrados	4
Pastos limpios	8
Pastos naturales y sabanas herbáceas	4
Playas, arenales y dunas	10
Tejido urbano continuo	1
Tejido urbano discontinuo	1
Tierras desnudas o degradadas	10
Zonas de extracción minera	10
Zonas portuarias	8

Tabla 1. Valor V para cada tipo de cobertura

Una vez revisada la información y procesada la cartografía y los aspectos relevantes de cada elemento en escala 1:25.000, se utilizaron las herramientas de interpolación del programa ARCGIS 9.3©, la función Topo To Raster, que es un método de interpolación diseñado específicamente para crear modelos digitales de elevación (DEM) hidrológicamente correctos. Está basado en el programa ANUDEM desarrollado por Michael Hutchinson (1988, 1989). (AS, 2011). Esta herramienta permite imponer restricciones en el proceso de interpolación como lagos, red de drenaje, condiciones de frontera y sumideros con el fin de que resulte una estructura correcta en la representación de crestas y arroyos para la obtención y corrección del modelo digital de elevación.

La pendiente del terreno se estimó del modelo digital de elevaciones (MDE), aplicando la herramienta de spatial analyst-slope del programa ARCGIS 9.3. La herramienta "Slope" permite calcular la tasa máxima de cambio existente entre los valores de una celda y los valores de las celdas inmediatamente aledañas a ella. Esto significa que esta herramienta es capaz de identificar los valores de inclinación para cada una de las celdas analizadas, las cuales son tomadas a partir de un Raster de Superficie; esto nos permite realizar un mapa de la variación de la pendiente del terreno

Para asignar el valor de S, se utiliza el valor de las pendientes, para lo cual se definieron los rangos de la tabla 1, y una escala de susceptibilidad a la erosión de 1 a 10 siendo diez (10) el mayor grado de susceptibilidad y uno (1), el menor grado de susceptibilidad (Tabla 2).

Tabla 2. Valor de S para cada pendiente.

Pendiente (%)	s
<2%	1
2-6	2
6-13	4
13-20	6
20-55	8
>55	10

Para calcular el valor de escorrentía (Es) se utilizó la caja de herramientas de Spatial Analyst Hydrologic Modeling que posee el ArcGis 9.3, el cual, basándose en el MDE corregido y los drenajes, determina el área acumulada de escorrentía hasta cada celda. (Barrios, 1999).

Para determinar el factor de geología se revisó información disponible en el IGAC, CORANTIOQUIA, la Gobernación de Antioquia, INGEOMINAS y el EOT del municipio de Anori. Una vez revisada la información y procesada la cartografía y los aspectos relevantes de cada elemento en escala 1:25.000, se procedió a generar el análisis respectivos de ésta variable. El valor de factor de geología (Geo) se basó en la geología existente en las zonas analizadas, a la cual, mediante un juicio de experto, se le definieron los valores de susceptibilidad a la erosión en escala de 1 a 10, siendo diez (10) el mayor grado de susceptibilidad y uno (1), el menor grado de susceptibilidad.

Tabla 3. Valores del parámetro Geo

Factor geológico	Geo
Aluviones recientes	10
Anfibolitas	5
Batolito de la quebrada Mani	7
Batolito antioqueño	7
Cuarcitas	2
Esquistos actinolíticos y cloríticos	6
Esquistos cuarzo - sericíticos	5
Esquistos cuarzo - sericíticos + cuarcitas	4
Esquistos intercalados	5
Formación de San Pablo	7
Formación La Soledad	7
Gabros	6
Intrusivos néisicos sintectónico	5
Neises cuarzo feldespáticos	5
Ultramafitas de Romeral	6
Volcánico de San Pablo	6
Volcánico de Segovia	6

Para determinar la pluviosidad se revisó información climática disponible en el IDEAM, estaciones de EPM, CORANTIOQUIA y el EOT del municipio de Anori. Una vez revisada la información se procedió al procesamiento de la misma para el cálculo de la variable Lm. Para ello se calculó la relación entre la precipitación promedio de cada zona y la precipitación máxima promedio mensual de toda la zona analizada y se obtuvieron los valores puntuales del índice en cada estación de la que se dispone de datos meteorológicos (EPM, 2005). Estos se han extendido de manera continua sobre el territorio aplicando dos métodos; el primero (1): zonas de influencia, basados en los polígonos de Thiessen; el segundo (2): mediante un análisis geoestadístico de los datos.

Los métodos de estimación tradicionales, como los polígonos de Thiessen, no consideran la correlación espacial entre los datos. Dos datos cercanos entre sí tienen, probablemente, valores más similares que datos que están muy apartados; en consecuencia, es necesario que el método de estimación tenga en cuenta la estructura de correlación espacial que existe entre los datos (Londoño, 2007).

Los métodos de estimación geoestadísticos caracterizan, modelan y utilizan la correlación espacial, además de suministrar valores estimados; estos métodos suministran la confiabilidad de la estimación, proporcionando una medida del error de estimación (Londoño, 2007). Además se pueden construir escalas paralelas de clasificación de los datos para su adecuada combinación lineal por medio de procesos de reclasificación.

Teniendo en cuenta que el modelo que representa mejor la distribución de las lluvias es el geoestadístico, para modelar la susceptibilidad se utilizó el estimado mediante el método geoestadístico kriging exponencial (Figura 2).

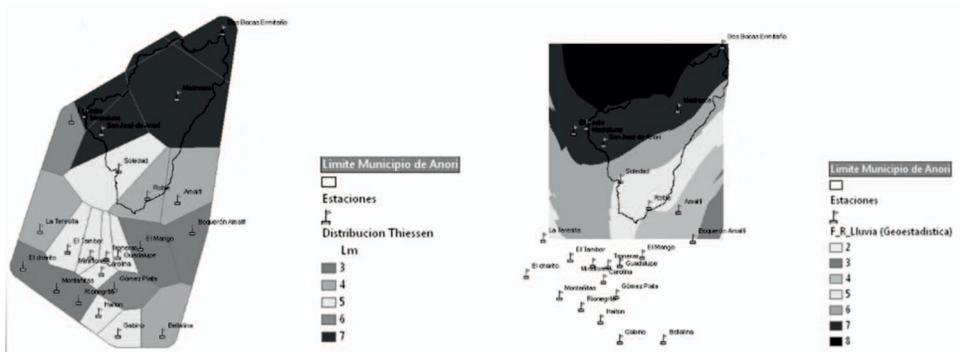


Figura 2. Mapa de distribución de lluvias cálculo con Thiessen y distribución de lluvias cálculo con kriging modelo exponencial.

Para determinar los proyectos mineros en el área se revisó información disponible en la página web de INGEOMINAS, de los diferentes títulos mineros registrados. Una vez revisada la información se procedió a digitalizarla (Figura 3).

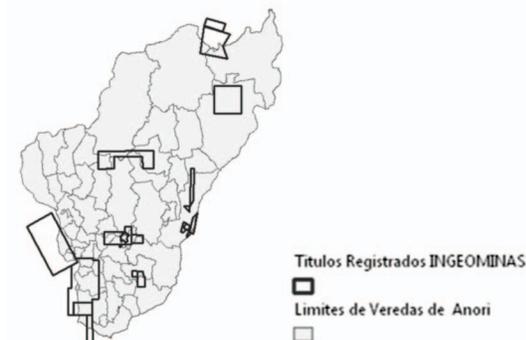


Figura 3. Distribución de títulos mineros del municipio de Anorí.

La minería en el municipio de Anorí es desarrollada bajo varios métodos, los cuales son definidos por el Ministerio de Minas y Energía (2003) de la siguiente manera:

- Minería a cielo abierto: Actividades y operaciones mineras desarrolladas en superficie.
- Minería aluvial: Actividades y operaciones mineras adelantadas en riberas o cauces de los ríos; también se emplean métodos de minería aluvial para la extracción de minerales y materiales en terrazas aluviales.
- Minería subterránea: Actividades y operaciones mineras desarrolladas bajo tierra o subterráneamente.

Las más impactantes sobre las coberturas vegetales son la minería aluvial y a cielo abierto, porque para el desarrollo de este último método de explotación es necesaria la remoción de toda la cobertura vegetal del área del proyecto.

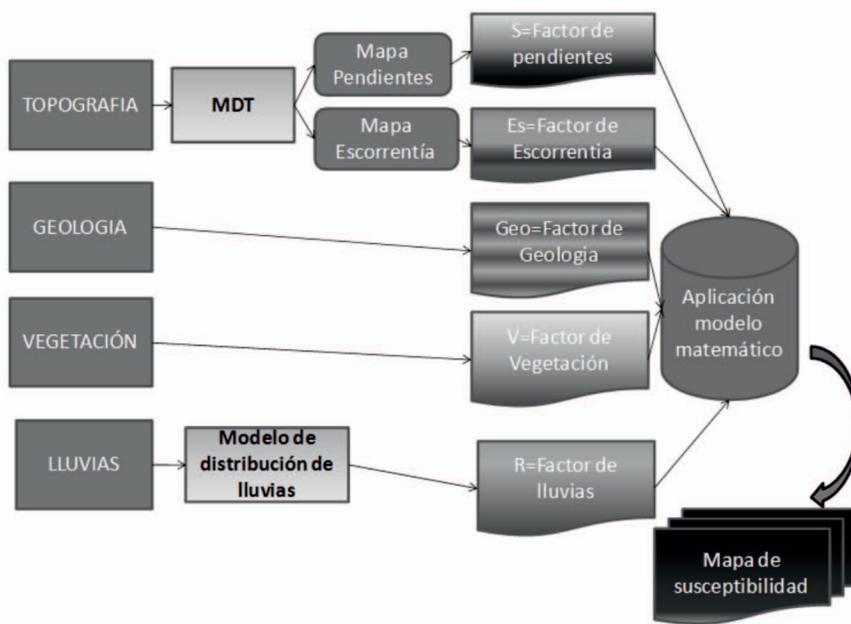
Es difícil saber qué tipo de minería se piensa a desarrollar en cada título minero, porque es necesario tener acceso a la información confidencial de cada proyecto; por eso, para el presente estudio se asumirá que todos los proyectos serán desarrollados a cielo abierto. Esto, desde luego, sesgará los resultados y es necesario tenerlo claro en el análisis de los mismos.

Una vez obtenidas todas las variables en formato raster correspondientes a los factores de pendientes (s), escorrentía (Es), geología (Geo), vegetación (V) y lluvias (R), descritos, se calculan los valores de susceptibilidad (S) mediante la caja de herramientas Raster Calculator (Spatial Analyst) del programa ARCGIS, en la cual se aplicó el siguiente modelo:

$$S_e = 0,162 * V + 0,0092 * Lm + 0,0057 * Es + 0,0187 * s + 0,023 * Geo + 0,228$$

Multiplicando los mapas correspondientes se calculo el mapa de susceptibilidad a la erosión (figura 10).

Figura 4. Modelo de cálculo de la susceptibilidad a la erosión



Se corrió el modelo con las coberturas vegetales iniciales sin los títulos mineros; una vez corrido el modelo por primera vez, se ajustó de nuevo para correrlo con los proyectos mineros, los cuales fueron superpuestos en la variable cobertura y reemplazando la cobertura actual por la cobertura futura que sería la minería y se calculó de nuevo el modelo de susceptibilidad a la erosión.

Los dos mapas resultados fueron reclasificados mediante los umbrales naturales (natural breaks o Jenks), ya que éste calcula las diferencias de valores entre los individuos estadísticos ordenados de forma creciente. El programa coloca un límite para separar los grupos donde las diferencias de valores son altas. Este método, muy antiguo y muy usual, se basa en las particularidades de la distribución (ESRI, 2010); este resultado nos arrojó 9 categorías finales las cuales fueron clasificadas de la siguiente manera: Muy Baja(1), Baja(2), Baja Alta(3), Media Alta(4), Media(5), Media Alta(6), Alta Baja(7), Alta Media(8), Muy Alta (9), siendo el nivel 1 el mas bajo y el 9 el mas alto nivel de susceptibilidad.

4. RESULTADOS

Para el modelo de susceptibilidad a la erosión donde el escenario actual es sin desarrollo de los proyectos de los títulos mineros, tenemos más del 65, 6 % del municipio en la categoría baja (Muy Baja (1), Baja (2), Baja Alta (3)), teniendo solo un 0.4 % en la clasificación de susceptibilidad Muy Alta (9) (Figura 5).

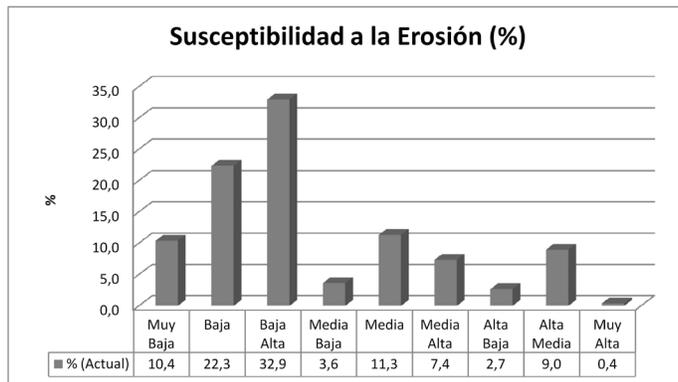


Figura 5. Distribución de la susceptibilidad a la erosión: escenario actual

Para el modelo de susceptibilidad a la erosión donde el escenario futuro es con el desarrollo de los proyectos minero a cielo abierto, encontramos que la mayor susceptibilidad a la erosión se encuentra en el área donde se pretende el desarrollo los proyectos, lo cual es algo fácil de predecir pero en ocasiones difícil de demostrar, aún mas bajo las presiones económicas actuales. Es de aclarar que no se tiene en cuenta ninguna medida de mitigación ni de prevención en el desarrollo del proyecto minero a cielo abierto.

Tenemos más del 59, 2 % del municipio en la categoría baja (Muy Baja (1), Baja (2), Baja Alta (3), teniendo un 10,8% en la clasificación de susceptibilidad Muy Alta (9) (Figura 6).

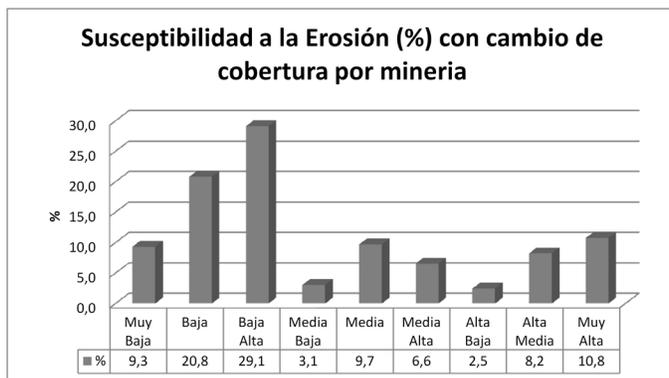


Figura 6. Distribución de la susceptibilidad a la erosión escenario futuro con proyectos mineros

Al comparar los dos escenarios el actual y el futuro con el desarrollo de los proyectos mineros tenemos que el cambio más significativo es el de la clasificación de la susceptibilidad Muy Alta nivel 9, la cual aumenta para el escenario futuro en un 10,4%, marcando el impacto por erosión en el municipio de Anorí (Figura 7 y Tabla 4).

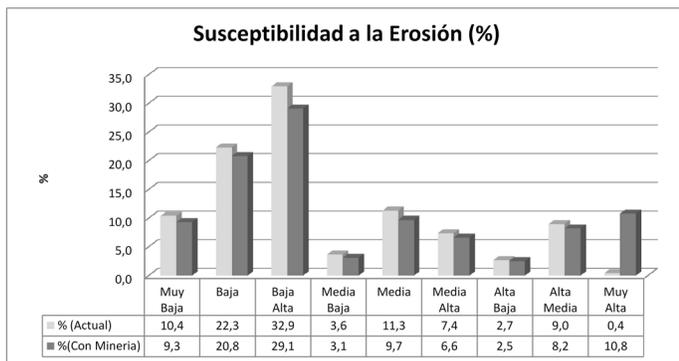


Figura 7. Comparación de la distribución de la susceptibilidad a la erosión escenario actual y futuro con proyectos mineros

Tabla 4. Comparación de la distribución de la susceptibilidad a la erosión escenario actual y futuro con proyectos mineros

Susceptibilidad	% (Actual)	% (Con Minería)	Cambio Delta[]
Muy Baja	10,4	9,3	1,1
Baja	22,3	20,8	1,5
Baja Alta	32,9	29,1	3,8
Media Baja	3,6	3,1	0,5
Media	11,3	9,7	1,6
Media Alta	7,4	6,6	0,8
Alta Baja	2,7	2,5	0,2
Alta Media	9,0	8,2	0,8
Muy Alta	0,4	10,8	10,4

5. DISCUSIÓN

Los resultados de la simulación de Geler en el 2004 demuestran que el cambio de cobertura vegetal está directamente relacionado con los cambios en la dinámica de la erosión y que la conservación de los bosques disminuye considerablemente la cantidad de pérdida de suelo, corroborando los resultados obtenidos en el presente estudio. También Ortega en el 2006, resalta en su estudio del Bajo Cauca los conflictos del uso del suelo que se presentan entre el minero y las áreas de conservación, los cuales ocasionan diferentes impactos directos entre los cuales está el aumento de la erosión.

Es importante tener presente que el análisis de erosión realizado se hizo sobre los títulos mineros del área, los cuales deben cumplir con todo el marco legal minero y ambiental para poder realizar sus explotaciones. Pero en el área se desarrollan explotaciones mineras ilegales las cuales generan una susceptibilidad a la erosión, y sobre otros componentes bióticos y abióticos, que podríamos asumir como la mas alta. La ilegalidad en las actividades mineras tiene que ver, en el aspecto ambiental, con que entidades como el Ministerio de Ambiente y las Corporaciones Autónomas dejan de percibir unas tasas por la explotación de los recursos naturales, y con que se siga explotando indiscriminadamente, lo cual deja pasivos ambientales que tiene que asumir el estado Colombiano (IMC, 2008): “Cuando eso sucede, por la afectación, el uso y el aprovechamiento de los recursos, entonces las Corporaciones van a disminuir su patrimonio y no van a cumplir con la función que les ha sido encomendada a través de la Ley, como la guarda y conservación de los recursos naturales renovables”

La emergencia económica, social y ecológica que vivió el país el último semestre del 2010 a causa del incremento de las lluvias por el fenómeno de La Niña dio lugar a la expedición de Decretos Ley, como los Decretos 4579 y 4580 de 2010 y el Decreto 020 de 2011. La emergencia puso al descubierto el descuido ambiental, en muchas zonas del país, por parte de los administradores del medio ambiente, como son las corporaciones autónomas regionales (CAR); debido a esta situación el Gobierno Nacional expidió, a través del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), el Decreto 141 (del 21 de enero de 2011) para la modificación de las mismas y sus respectivas funciones. Aunque este fue declarado inconstitucional meses después, el Gobierno Colombiano viene trabajando es expedir otro Decreto similar. El Decreto 141 fue una alerta a las CAR, ya que son claras las falencias que tienen muchas de ellas; por eso es necesario, para el buen manejo territorial, tener en cuenta estudios de sensibilidad ambiental como el presente, y más aún para el sector minero ya que viene siendo impulsado por el Gobierno Nacional como la principal locomotora de desarrollo económico para el país. Los resultados del presente estudio ponen al descubierto posibles incrementos en la erosión por el cambio de cobertura vegetal, lo que hace necesario, por parte de las CAR, tener una buena evaluación de las licencias ambientales y sus planes de manejo ambiental para evitar los impactos y prevenir situaciones de calamidad ambiental en el futuro.

Son muchos los estudios que se han realizado, sobre diferentes zonas del país, que muestran las posibles problemáticas, restricciones y riesgos ambientales; de allí su importancia a las hora de planificar el uso del territorio, y la necesidad que las CAR y las entidades territoriales los tengan más en cuenta para la toma de decisiones y planeamiento de su territorio. Esto debe contribuir, en un futuro, a evitar que se presenten situaciones similares a las vividas en la última ola invernal, por la falta de planificación ambiental que ha propiciado, en muchas partes del país, la deforestación en áreas de nacimientos de agua, el cambio de cobertura vegetal, el mal manejo de las zonas de retiros de las fuentes de agua, los asentamientos humanos en zonas de alto riesgo. Estas, entre otras acciones,

provocan el aumento de la erosión y la sedimentación de los ríos, ocasionando inundaciones en tantas zonas del país como se puede evidenciar claramente en la temporada de lluvias vivida en el 2010.

El Decreto 141 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, declarado inexecutable por la corte, realizaba la fusión de algunas corporaciones y la creación de nuevas CAR buscando que la Jurisdicción de las mismas se delimitará territorialmente al área de las cuencas hídricas; este Decreto también establecía en su artículo 9 subíndice a), textualmente, lo siguiente: "Incorporar, en los procesos de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, la gestión del riesgo". Es así como el presente estudio y sus resultados se vuelven más importantes ya que involucran en el incremento de la erosión en el municipio de Anorí, a todas las variables bióticas, a una económica, como es la minería, y al riesgo ambiental que implica la minería no manejada ambientalmente.

Uno de los principales limitantes del modelo es la obtención de información cartográfica actualizada. Aunque existen mapas publicados de coberturas vegetales, así como mapas topográficos, se trata de una variable con una variabilidad temporal tan alta que los mapas y los resultados del modelo pueden quedar rápidamente obsoletos, quizás incluso antes de su publicación. Ello ocurre aún más con la información del catastro minero suministrada por INGEOMINAS, la cual es desactualizada y muy básica, por lo cual el modelo tiene que asumir que todos los proyectos mineros son a cielo abierto.

6. CONCLUSIONES

La gestión ambiental en el modelo de susceptibilidad a la erosión está enmarcada principalmente en el manejo de la cobertura vegetal, debido a que es la variable más importante del mismo y aquella sobre la cual podemos influir realmente con nuestro trabajo de prevención, mitigación y compensación.

Colombia se está volviendo un país minero, y la locomotora minera ya está en marcha; sin embargo, la explotación minera debe estar orientada a controlar los tremendos impactos negativos sobre el medio ambiente, entre los cuales la erosión es uno de los principales. Por ello, este tipo de modelos puede convertirse en una herramienta rápida y versátil para la evaluación de los proyectos actuales.

El aumento de la susceptibilidad a la erosión con los proyectos mineros es considerable ya que el desarrollo de un proyecto minero a cielo abierto implica la remoción de toda la cobertura vegetal dejando al descubierto el suelo e influyendo directamente en el aumento de la erosión del área.

Los modelos de las diferentes variables ambientales, como el presentado en el estudio, se convierte en una herramienta muy útil para la planificación ambiental y la toma de decisiones de la autoridad ambiental, la autoridad territorial y las empresas mineras en el desarrollo de proyectos de alto impacto ambiental, para así poder hacer más sostenible el aprovechamiento de los recursos mineros en una región.

Para el desarrollo de estos modelos y obtener un resultado más aproximado a la realidad, la información básica disponible y la calidad de la misma se convierte en un insumo indispensable para un buen resultado, más aproximado a la realidad. Los resultados dependen de la información suministrada, la calidad de los datos y la disponibilidad de los mismos.

La metodología del modelo de susceptibilidad a la erosión mediante su aplicación en un caso de planificación local, muestra que puede ser utilizada como una herramienta de gestión local de los procesos de toma de decisiones. No obstante que esta herramienta fue aplicada a un caso de minería a cielo abierto, los análisis hechos son aplicables a cualquier otro tipo de minería y a otras escalas; no obstante, los criterios deben ser ajustados a otros tipos de minería por ejemplo la subterránea, la cual por el tipo de explotación tiene mínimos impactos en la cobertura vegetal.

Los modelos de susceptibilidad para la erosión del suelo son necesarios para evaluar las estrategias encaminadas a perfeccionar el manejo de la tierra, en especial para el uso minero, para reducir la magnitud de los problemas de la erosión del suelo. Además, los modelos contribuyen a apoyar la ciencia de muchas maneras, tales como proporcionar una vía para dar a conocer los componentes de un sistema.

Estos aspectos ambientales hace algunos años no se percibían como un factor de riesgo para el futuro de la humanidad; por eso se explotaban los recursos indiscriminadamente. Hoy se contemplan con gran preocupación, que no siempre está justificada, pues el hombre viene alterando el medio desde que ha sido capaz de ello; no obstante, los abusos cometidos han hecho crecer la conciencia de la necesidad de regularlos. De cualquier manera, también debe quedar claro que aunque la sociedad necesita recursos mineros hoy, y los necesitará en el futuro, ello no justifica que pueda pasar por encima del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUAYSIG. AS., 2011. Interpolar con Topo to Raster en ArcGis. Disponible en: <http://www.aguaysig.com/2011/11/interpolar-con-topo-to-raster-en-arcgis.html>
- BARETTINO, D., 2003. Algunos casos de ordenación minero-ambiental en la explotación de áridos en España. Primer seminario internacional Minería, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. CYTED, DAMA y ASOGRAVAS. Bogotá. 32 P.
- BARRIOS, A., 1999. Distribución espacial del factor Ls (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles con Hidrisi: Aplicación en una microcuenca Andina. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).
- CEBALLOS, D., 2008. Construcción metodología de un estudio de impacto ambiental implementando un sistema de información geográfica a la explotación minera en un proyecto en el municipio de Zaragoza. Medellín. Trabajo de grado (Especialista en sistemas de información geográfica). Universidad de San Buenaventura sede Medellín. Facultad de ingeniería. 138 P.
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, EPM., 2006. Evaluación de impactos ambientales acumulativos sinérgicos e indirectos en la cuenca hidrográfica del río Porce con énfasis en el proyecto Porce III. Medellín.
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, EPM., 2005. Red de estaciones hidrometeorológicas de EE.PP.M. Revista Hidrometeorológica. Vol., 1.No 1, pp.33-70.
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, EPM., 1996. Diagnóstico actividad y susceptibilidad erosiva Proyecto Porce II. Elaborado por Consultoría Colombiana S.A.
- ESRI., 2010. Natural breaks (Jenks). Disponible en: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Natural_breaks_%28Jenks%29
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO., 1990. Guidelines for soil description. Rome, Italy.
- GELER T, Ligtenberg A, Rolf A., 2004. Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión en los suelos debido a los cambios en el uso de la tierra, Instituto de Geografía Tropical. Centre for Geo-Information. Wageningen University. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- INFORMACION MINERA COLOMBIANA, IMC., 2008. A aplicar las leyes mineras en el Cauca. Disponible en: <http://www.imcportal.com/contenido.php?option=shownews&newsid=2564&ender=page>
- JARVIS, A, Rubiano J, Nelson A, Farrow A & Mulligan M., 2010. Practical use of SRTM data in the tropics. Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- JUNTA DE ANDALUCIA, JA., 2010. El pronóstico de la erosión de suelos como parte del proceso de evaluación Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/uso_suelo/pronostico.pdf
- LONDOÑO, L., 2007. Modelación y análisis espacial. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería Medellín. Medellín. 112 P.

- MESÉN, R., 2009. Consideraciones y conclusiones al aplicar el modelo de erosión RUSLE en algunas cuencas de la fila costeña, Costa Rica. Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS-UCR). Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (UCR). Costa Rica, Centroamérica.
- MILLÁN, A., 1996- Evaluación y factibilidad de proyectos mineros. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 396 P
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, MAVDT, 2011. Decreto 141 de 2011. Bogotá., 2011
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA., 2003. Glosario técnico minero. Bogotá.
- MUNICIPIO DE ANORÍ, EOT Anorí, 2000. Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Anorí
- ORTEGA, A., 2006. La minería y el ordenamiento territorial. Medellín. Trabajo de grado (magister en medio ambiente y desarrollo sostenible). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente Facultad de Minas.117 P.
- WISCHMEIER, WH & Smith DD., 1978. Predicting rainfall erosion losses- A guide to conservation planning. USDA Handbook no. 537, 58 P.

